

ANALISIS KINERJA INSTALASI SISTEM PENGKONDISIAN UDARA BANGUNAN KOMERSIAL

Drajat Samyono

ABSTRACT

Instalasi system pengkondisian udara merupakan suatu proses penanganan udara. Mesin pendingin (*water chiller*) yang digunakan mempunyai kapasitas pendingin 600 Ton Refrigerasi dan laju aliran refrigeran (R134-a) 13,608 kg/s. Kinerja mesin pendingin ditentukan oleh parameter koefisien laju perpindahan kalor evaporator dan kondensor, efektifitas evaporator dan kondensor dan faktor fouling evaporator dan kondensor. Parameter analisis kinerja yang digunakan adalah laju aliran massa refrigeran, temperature masuk dan keluar kompresor, temperature refrigerant pada evaporator dan kondensor, tekanan evaporator dan kondensor, temperatur air masuk dan keluar evaporator, serta temperatur air masuk dan keluar kondensor. Melalui perhitungan dan analisa data yang direkam selama 120 hari, diperoleh penurunan kapasitas beban pendingin 1,53 %, koefisien kinerja 3,12 %, efektifitas evaporator 20,52 %, dan faktor fouling 159,24 %. Sedangkan pada kondensor terjadi penurunan laju perpindahan kalor 1,34 %, efektifitas kondensor 22,22 %, dan kenaikan faktor fouling 299,7 %.

Keywords: Kapasitas pendingin, analisis kinerja, temperatur, tekanan, laju perpindahan kalor

A. PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Kinerja dari system pengkondisian udara dapat dianalisa dari koefisien prestasinya (*Coefficient of Performance*) yaitu perbandingan antara kalor yang diserap dari ruang pendingin (efek refrigerasi) dengan kerja yang dilakukan kompresor. Secara keseluruhan dapat dianalisa melalui parameter kinerja kompresor, kondensor dan evaporator.

Penurunan kinerja instalasi system pengkondisian udara salah satunya akibat terhambatnya laju perpindahan kalor di karenakan adanya *fouling* yang melekat

pada dinding pipa kondensor maupun evaporator.

Metode yang digunakan pada penelitian ini antara lain :

1. Studi literatur

Dalam penelitian ini penulis juga mempelajari dari buku-buku teks, catatan perkuliahan, tulisan-tulisan ilmiah yang bersumber dari internet serta segala hal yang mendukung penulisan thesis ini.

2. Studi eksperimental

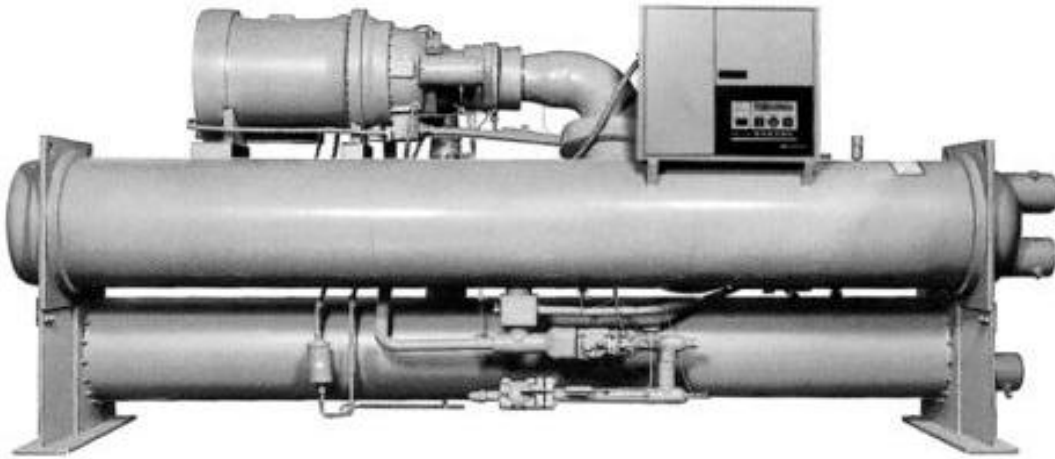
Pendekatan secara eksperimental dilakukan dengan pengamatan (*visualisasi*) kinerja operasional instalasi sistem pengkondisian udara yang disertai dengan data

pengambilan operasional harian yang dijadikan sebagai data primer.

B. Landasan Teori

Sebagai bahan penelitian adalah sebuah instalasi sistem pengkondisian udara (*chiller*) yang digunakan pada sebuah pusat perbelanjaan.

Adapun *chiller* yang digunakan adalah tipe PEH087 (Evaporator/Condensor : 3016/3016), kompresor tunggal merk McQuay dengan kapasitas 600 Tons (2110 kW), menggunakan HFC 134a sebagai refrigeran (refrigeran primer) dan air sebagai refrigeran sekunder.



Gambar 1. *Chiller PEH087, McQuay International*^[7]

Kondensator dan evaporator yang digunakan adalah tipe *shell and tube*, posisi horizontal dengan jenis aliran fluida *counter flow*.

C. Metode Penelitian

Prosedur penelitian pada pengujian instalasi sistem pengkondisian udara bertujuan untuk mengetahui kinerja dari kompresor, kondensator dan evaporator. Prosedur yang dilakukan pada pengujian adalah :

- Melakukan pengukuran temperature dan tekanan refrigeran dan evaluasi terhadap parameter-parameter kinerja kompresor yaitu daya kompresor (W_{Komp}), kapasitas pendingin (Q_{Evap}) dan koefisien kinerja mesin pendingin (COP).
- Melakukan pengukuran temperature dan tekanan refrigeran dan evaluasi kinerja kondensator dengan

menghitung parameter-parameter kinerja kondensator, yaitu laju perpindahan kalor (Q_{out}), koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U) dan factor *fouling* (ΣR_f).

- Melakukan pengukuran temperature dan tekanan refrigeran dan evaluasi kinerja evaporator dengan menghitung parameter-parameter kinerja evaporator, yaitu laju perpindahan kalor (Q_{in}), koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U) dan factor *fouling* (ΣR_f).
- Melakukan analisis terhadap evaluasi dari parameter-parameter tersebut di atas dengan menghitung prestasi kinerja pada instalasi sistem pengkondisian udara.

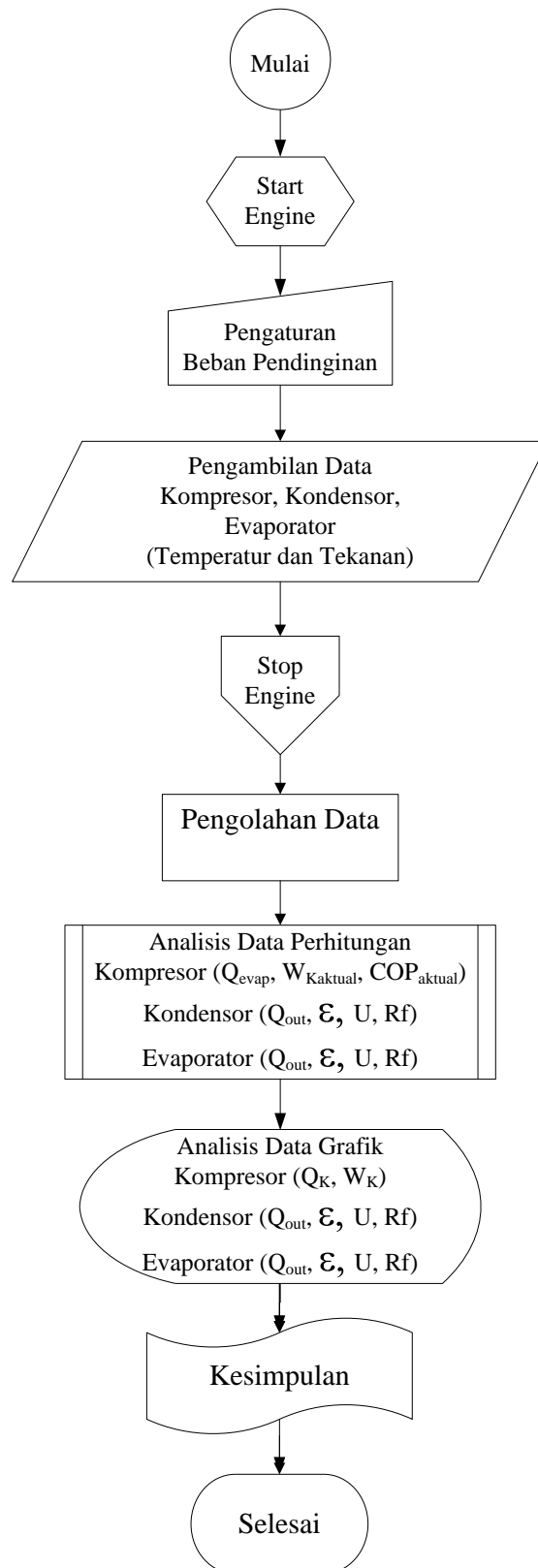
D. Teknik Pengumpulan Data dan Pengolahan Data

Data kompresor, kondensor dan evaporator berasal dari dua sumber, yang pertama dari data spesifikasi sistem pendinginan udara yang ada di lokasi gedung, dan yang kedua dari data operasional harian instalasi sistem

pendinginan udara yang direkam selama 120 hari berturut-turut.

Pengambilan data operasional kompresor, kondensor dan evaporator diperoleh setelah instalasi sistem pendinginan udara dioperasikan beberapa saat setelah *cleaning* sampai dengan waktu akan mulai *cleaning* kembali.

Alur proses langkah-langkah penelitian dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar2. Diagram alirpenelitian

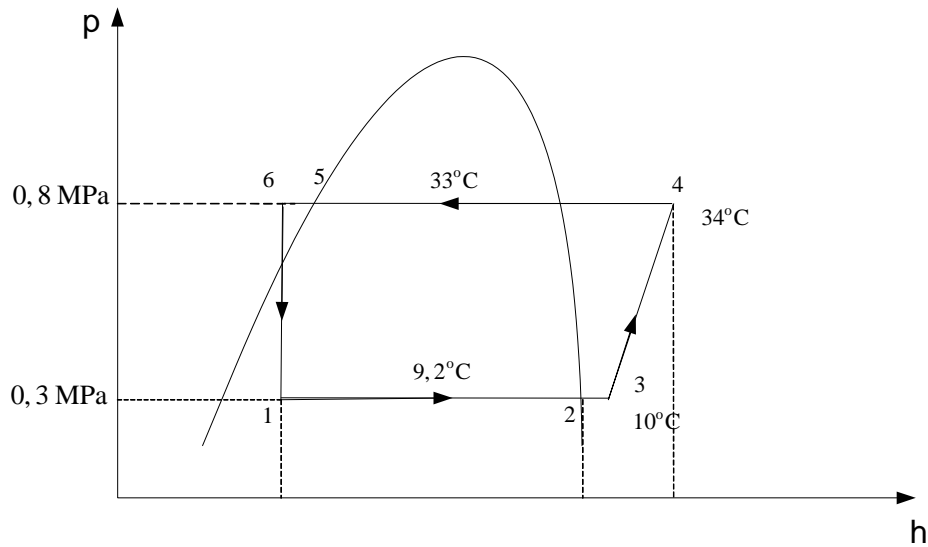
1. ANALISIS DATA DAN

Tabel 1. Analisa kapasitas pendingin Mesin pendingin

2. PERHITUNGAN

Pengolahan Data Hasil Pengukuran Kapasitas Pendingin Mesin Pendingin

Tgl/Bln/Th	m_{ref} (kg/s)	T_2 (°C)	h_2 (kJ/kg)	T_3 (°C)	h_3 (kJ/kg)	T_5 (°C)	h_5 (kJ/kg)	h_1 (kJ/kg)	Q_c (kW)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10 April 2010	13,6080	9,20	252,47	10,00	256,21	33,00	95,86	92,12	2182,04
16 April 2010	13,6080	9,40	252,58	10,30	256,48	33,00	95,86	91,95	2185,85
22 April 2010	13,6080	9,30	252,52	11,30	257,40	33,40	96,44	91,56	2190,34
28 April 2010	13,6080	10,00	252,92	10,80	256,94	33,50	96,59	92,56	2182,18
04 Mei 2010	13,6080	9,80	252,80	10,60	256,76	33,60	96,73	92,78	2177,55
10 Mei 2010	13,6080	9,60	252,69	11,40	257,50	34,20	97,61	92,81	2175,65
16 Mei 2010	13,6080	9,60	252,69	10,30	256,48	34,30	97,76	93,97	2159,86
22 Mei 2010	13,6080	9,50	252,64	11,40	257,50	34,30	97,76	92,90	2173,74
28 Mei 2010	13,6080	9,80	252,80	10,60	256,76	34,40	97,91	93,95	2161,63
03 Juni 2010	13,6080	9,20	252,47	10,60	256,76	34,40	97,91	93,62	2161,63
09 Juni 2010	13,6080	9,30	252,52	10,90	257,04	34,50	98,05	93,54	2163,40
14 Juni 2010	13,6080	9,40	252,58	10,30	256,48	34,50	98,05	94,15	2155,92
19 Juni 2010	13,6080	10,10	252,97	11,40	257,50	34,70	98,35	93,82	2165,71
24 Juni 2010	13,6080	9,70	252,75	11,00	257,13	34,90	98,64	94,26	2156,73
29 Juni 2010	13,6080	9,60	252,69	11,20	257,31	35,00	98,79	94,17	2157,14
04 Juli 2010	13,6080	9,20	252,47	10,90	257,04	35,00	98,79	94,22	2153,47
09 Juli 2010	13,6080	9,30	252,52	10,90	257,04	35,00	98,79	94,27	2153,47
14 Juli 2010	13,6080	9,50	252,64	11,30	257,40	35,20	99,08	94,31	2154,55
19 Juli 2010	13,6080	9,30	252,52	10,90	257,04	35,20	99,08	94,57	2149,38
24 Juli 2010	13,6080	9,30	252,52	11,00	257,13	35,30	99,22	94,62	2148,70



Gambar3. Diagram siklus kerja instalasi mesin pendingin yang menjadi Obyek studi.

3. Perhitungan Laju Aliran Kalor yang diserap Refrigeran Evaporator

Laju aliran kalor yang diserap refrigeran dievaluasi dengan menggunakan persamaan :

$$Q_c = m_c \cdot (h_2 - h_1) \dots\dots\dots (1)$$

Laju aliran massarefrigeran dievaluasi dari data spesifik mesin pendingin berkapasitas 600 Tons (2110 kW), menggunakan HFC 134a sebagai refrigeran adalah 3 lbm/min/Tons. Dimana untuk satuan berat 1 lbm sama dengan 0,4536 kg, Sehingga laju aliran massarefrigeran yang digunakan adalah :

$$m_{ref} = 3 [\text{lbm}/\text{min}/\text{Tons}] \times 0,4536 [\text{kg}/\text{lbm}] \times \frac{600 \text{ Tons}}{60 [\text{s}/\text{min}]}$$

$$m_{ref} = 13,6080 \text{ kg/s}$$

Tingkat keadaan keluar evaporator hasil pengukuran adalah temperatur 9,2°C dan tekanan evaporator 0,3 MPa, sehingga :
 $h_2 = 252,47 \text{ kJ/kg}$

Tingkat keadaan masuk kompresor hasil pengukuran adalah temperatur 10°C dan tekanan 0,3 MPa, sehingga :

$$h_3 = 256,21 \text{ kJ/kg}$$

Tingkat keadaan masuk evaporator diperoleh dari tingkat keadaan pendinginan lanjut (*subcooling*) yang diperoleh dengan persamaan :

$$Q_{23} = Q_{56}$$

$$h_3 - h_2 = h_5 - h_6 \dots\dots\dots (2)$$

Tingkat keadaan keluar kondensor hasil pengukuran adalah temperature 33°C dan tekanan kondensor 0,8MPa, sehingga :
 $h_5 = 95,86 \text{ kJ/kg}$

Sehingga dari persamaan(2) diatas diperoleh :
 $h_6 = 92,12 \text{ kJ/kg}$

Entalpirefrigeran pada temperature dan tekanan masuk evaporator (h_1) adalah sama dengan entalpirefrigeran masuk katupekspansi (h_6).
 $h_1 = h_6 = 92,12 \text{ kJ/kg}$

Sehingga dari persamaan (1) diperoleh :
 $Q_c = 2182,04 \text{ kW}$

Q_c merupakan laju aliran kalor yang diserap refigeran ke evaporator (Q_{in}).

4. Perhitungan Daya Kompresor dan Koefisien Prestasi Kinerja

Daya kompresor dapat dievaluasi dengan persamaan :

$$W_{Komp} = m_{ref} \cdot (h_4 - h_3) \dots \dots \dots (3)$$

h_3 = entalpi refrigeran pada temperature masuk kompresor (10°C) dan tekanan evaporator ($0,3 \text{ MPa}$) = $256,21 \text{ kJ/kg}$

Tingkat keadaan keluar kompresor hasil pengukuran adalah temperatur 34°C dan tekanan kondensor $0,8 \text{ MPa}$, sehingga :

$$h_4 = 267,08 \text{ kJ/kg}$$

Sehingga dari persamaan (3) diatas diperoleh :

$$W_{Komp} = 147,92 \text{ kW}$$

Koefisien prestasi mesin pendingin dievaluasi dengan persamaan :

$$COP = \frac{Q_{in}}{W_{Komp}} \dots \dots \dots (4)$$

$$W_{Komp}$$

Sehingga didapat :

$$COP = 14,75$$

Sedangkan daya teoritis kompresor dapat dievaluasi dengan persamaan :

$$W_{K,teoritis} = \frac{W_{Komp}}{\eta_K} \dots \dots \dots (5)$$

$$\eta_K$$

dimana :

$$\eta_K = \text{efisiensi isentropik kompresor}$$

Sesuai dengan spesifikasi teknik kompresor, diambil $\eta_K = 0,85$

Sehingga dari persamaan (5) kerja teoritis kompresor adalah :

$$W_{K,teoritis} = 174,02 \text{ kW}$$

E. Kesimpulan

Dari hasil evaluasi analisis kinerja system pengkondisian udara dengan menggunakan data hasil pengukuran selama 120 hari berturut-turut dan perhitungan parameter-parameter yang sesuai dengan metodologi penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Adanya penurunan kapasitas pendingin selama pengoperasian mesin pendingin, dikarenakan perubahan temperatur yang menyebabkan penurunan perbedaan entalpi aliran refrigerant pada evaporator.
2. Prestasi kinerja kompresor masih cukup baik, dikarenakan koefisien prestasi kinerja (COP) dari mesin pendingin masih cukup tinggi dan selama pengoperasiannya besaran COP masih cukup stabil.
3. Laju perpindahan kalor menyeluruh evaporator, koefisien perpindahan kalor menyeluruh dan efektifitas evaporator mengalami penurunan,
4. Adanya kenaikan $LMTD$ evaporator dan penambahan factor pengotoran.
5. Laju perpindahan kalor menyeluruh, koefisien perpindahan kalor menyeluruh, dan efektifitas kondensor semakin menurun.
6. Adanya kenaikan $LMTD$ dan penambahan factor pengotoran pipa kondensor.

DAFTAR PUSTAKA

Shan K. Wang. Edisi 2. 2001. *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*. McGraw-Hill. New York.

UNEP. Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia. *Peralatan Energi Listrik: Refrigerasi dan Penyedot AC*. www.energyefficiencyasia.org [10/05/09].

Yunus A. Cengel & Michael A. Boles. 2007. *Thermodynamics: An Engineering Approach*. McGraw-Hill. Singapore.

Frank Kreith & William Z. Black. 1980. *Basic Heat Transfer*. New York : Harper & Row Publisher.

Merle C. Potter & David C. Wiggert. 2001. *Mechanics of Fluids*. Prentice-Hall, Inc.

McQuay Air Conditioning. 1999. *Installation, Operating and Maintenance : Single/Dual Compressor Centrifugal Chiller*. McQuay International.

McQuay Air Conditioning. Product Manual PM PEH/PFH-1. 1999. *Centrifugal Compressor Water Chiller*. McQuay International.

McQuay Air Conditioning. Product Manual PEH087. Revisi V. 2010. *Centrifugal Chiller*. McQuay International.

McQuay Air Conditioning 31-002. 2000. *Application Guide : Centrifugal Chiller Fundamentals*. McQuay International.

McQuay Air Conditioning 31-003-1. 2002. *Application Guide : Chiller Plant Design*. McQuay International.

Zainus Salim and Gunandjar. 21 Juni 2007. *Persoalan Fouling dan Solusinya pada Evaporator untuk Pengolahan Limbah Radioaktif Cair*, Prosiding Seminar Nasional X, Kimia Dalam Pembangunan, Hotel Grand Mercure Yogyakarta.

Zainus Salim and Endang Nuraeni. 17 Oktober 2009. *Estimasi Biaya Fouling pada Alat Penukar Panas untuk Penanganan Limbah Radioaktif Cair*. Prosiding Seminar Nasional ke-15 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif Batan. Surakarta.

UNEP, 10 Mei 2010. *Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia*. www.energyefficiencyasia.org.

American Society Heating Refrigeration and Air Conditioning. *ASHRAE Hand Book*. 2001.

Arora, C.P. *Refrigeration and Air Conditioning*. Second edition. Tata McGraw-Hill. Publishing Company Ltd. 2000.

Bureau of Energy Efficiency, Ministry of Power, India. *HVAC and Refrigeration Systems*. Energy Efficiency in Electrical Utilities, ch. 4. 2004

Michael J. Moran, *Introduction to Thermal System Engineering*, John Wiley and Sons, Inc. 2003.

HadiWibowo, *AnalisisKinerjaKondensorSistemPendinginPusatPerbelanjaan*, Jakarta. 2011.

John H. Leinhard IV, *A Heat Transfer Text Book*, 3 th Ed., Phlogiston Press, Cambridge Massachusetts, 2003.